

усталостной трещиной [5]. Данная методика, используя принцип безопасного повреждения, позволяет рассчитывать безопасное количество циклов нагружения детали.

Библиографический список

1. Harisson J.D. Damage tolerance design / J.D. Harisson// In: Fatigue crack growth. 30 years of progress (Ed. Smith, R.A.)/ University of Cambridge, Pergamon Press, 1984. P.117-131.
2. Шанявский А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. Синергетика в авиации. – Уфа: Монография, 2007. 500с.
3. Шанявский А.А. Безопасное усталостное разрушение элементов авиа конструкций. Синергетика в инженерных приложениях. – Уфа: Монография, 2003. 803с.
4. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС: реальность и мифы /Геннадий Рассохин/
<http://www.plotina.net/sshges-rassokhin-3/>).
5. Хибник Т.А., Кольцун Ю.И. Методика расчёта остаточной долговечности детали с усталостной трещиной // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: материалы докладов международной научно-технической конференции. – Самара: СГАУ, 2011. – В 2Ч. Ч.1. С.123-124.

УДК 621.74

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЛОПАТОК СТАТОРА КОМПРЕССОРА

©2016 Е.М. Добрышкина, Р.А. Вдовин, В.Г. Смелов, А.В. Балякин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

USING THE TECHNOLOGY OF RAPID PROTOTYPING FOR MANUFACTURING COMPRESSOR STATOR BLADES

Dobryshkina E.M., Vdovin R.A., Smelov V.G., Balaykin A.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The work considers an opportunity of using rapid prototyping technology to produce details for aerospace engineering as for the example the manufacturing of compressor's 15-stage stator vanes. At first, this product was manufactured by volumetric deformation. The economic effect of the developing technology shown the feasibility of applying the methods of rapid prototyping for blank production.

Постоянно нарастающая конкуренция предприятий на рынке является толчком для развития новых, усовершенствованных технологий, которые позволят быстро и в тоже время качественно изготовить различную номенклатуру деталей в короткие сроки.

Метод литья по выплавляемым моделям (ЛВМ), благодаря преимуществам по сравнению с другими способами изготовления отливок, получил значительное распространение в авиадвигателестроении, авиа- и ракетостроении, приборостроении.

Способ литья применяется для получения сложных по конфигурации тонкостенных (до 0,3 мм) отливок с размерами повышенной точности, высоким классом чистоты и шероховатостью от $Rz=20$ мкм до $Ra=1,25$ мкм, требующих сложной и трудоёмкой механической обработки, а также получения изделий из трудно обрабатываемых сплавов.

Работа посвящена исследованию области применимости технологий быстрого прототипирования при изготовлении лопатки 15-ступени компрессора.

На первом этапе используя 3D-модель лопатки статора компрессора 15 ступени (рис. 1) и эскиз отливки лопатки статора компрессора 15 ступени, создали 3D-модель отливки в CAD модуле программы NX.

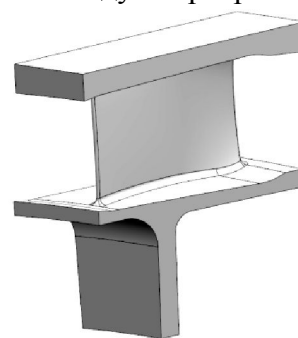


Рис. 1. 3D-модель отливки лопатки статора компрессора 15 ступени

Затем спроектированную модель необходимо смасштабировать на суммарный процент объёмной термической деформации.

На втором этапе происходит изготовление прототипа лопатки с использованием печатной системы Objet Eden 350.

Эта система позволяет проверить детали на разрывы, автоматически рассчитать данные по расходованию количества основного материала, материала поддержки, а также оценить время выращивания модели.

Для оценки погрешности формы детали была использована координатно-измерительная машина (КИМ) DEA Global.

Сканирование на данном оборудовании позволяет за более короткое время, чем общепринятые системы измерения, получить более точные результаты.

Следующим этапом является изготовление эластичной силиконовой пресс-формы для получения восковых моделей лопатки статора 15-ой ступени компрессора.

Одной из важнейших особенностей технологии литья в эластичные формы, является абсолютно точное копирование мастер-модели. Силиконовая форма изготавливается заливкой подготовленного прототипа изделия, выращенного на 3D-принтере. После разделения формы по поверхности разёма модель удаляется из силиконовой формы. Затем форма собирается, восковая модельная масса растапливается, вакуумируется в вакуумной камере и заливается в силиконовую форму. После затвердевания восковой модельной массы форма разбирается и извлекается готовая восковая модель.

Преимуществом силиконовой формы является возможность изготовления деталей любой сложности.

Далее для обеспечения процесса заливки необходимо разместить на модели литник и воздушные каналы (выпоры).

Процесс заливки можно разделить на четыре этапа: подготовку модели, приготовление компаунда для заливки, заливку и полимеризацию.

Вакуумируем смесь в течение 20 минут для удаления воздуха. После проведения процесса дегазации следует аккуратно залить приготовленную смесь поверх прототипа, избегая захвата воздуха.

После полного отверждения силикона форма извлекается из термошкафа, производится удаление опалубки, извлечение литника и стержней воздушных каналов. После открытия формы и извлечения мастер-модели следует продуть её сжатым воздухом для удаления мелкого мусора.

Затем изготавливаем модель из модельной массы по технологической инструкции. Для этого необходимо собрать литейную подводящую систему, состоящую из полимерной трубки и двух насадок: одна является переходником между заливочной воронкой, находящейся в перегородке между двумя камерами машины, и вторая соединяет заливочную трубку с литейной формой.

По истечению 20 минут после вакуумирования и расплавленную модельную массу заливают в форму. После завершения работы по заливке помещают форму в термошкаф с температурой 70°C для удаления остатков восковой массы. Залитую форму оставляют остывать при комнатной температуре.

После этого удаляют верхний слой восковой модели, литник, выпоры и производят извлечение модели. На извлеченной модели зачищают места установки литника и воздушных выпоров.

Изначально заготовки лопатки статора компрессора 15-ой ступени получали методом объёмной штамповки. Однако, как показали расчёты, коэффициент использования заготовки у поковки намного меньше по сравнению с отливкой.

$$КИЗ_{поковки} = \frac{G_{\text{д}}}{G_3} = \frac{0,108}{0,406} = 0,27;$$

$$КИЗ_{отливки} = \frac{G_{\text{д}}}{G_3} = \frac{0,108}{0,158} = 0,68.$$

Из этого следует, что с точки зрения коэффициента использования заготовки предпочтительно использовать заготовку, получаемую литьем. Это имеет первостепенное значение для экономии дорогостоящих материалов.

Резюмируя, необходимо отметить, что предпочтение следует отдавать тем способам получения заготовки, которые при всех прочих равных условиях (высокая надёжность работы детали в эксплуатации, производительность получения заготовки и её стои-

мость, трудоёмкость механической обработки) обеспечивают большие значения КИМ и КИЗ. Это имеет первостепенное значение для экономии дорогостоящих материалов

(жаропрочные и титановые сплавы, высоколегированные стали, алюминиевые и магниевые сплавы и т. д.).

УДК 621.486

К ВОПРОСУ АЛГОРИТМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 А.И. Довгялло, С.О. Некрасова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

THE QUESTION OF DESIGN AND OPTIMIZATION ALGORITHM FOR THERMOACOUSTIC ENGINE

Dovgjallo A.I., Nekrasova S.O. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

Thermoacoustics deals with the conversion of heat energy into sound energy and vice versa. The unique feature of the present algorithm is its ability to design thermoacoustic engine from scratch. It based on the energy balance including a coefficient of performance as a criterion to design individual thermoacoustic engines and acoustically-driven thermoacoustic refrigerators. As a case study, a thermoacoustic standing wave engine has been designed and optimized based on the developed algorithm. The results from the algorithm are in good agreement with that obtained from the computer code DeltaEC.

На сегодняшний момент одним из основных средств проектирования термоакустических устройств остается программа Delta EC, реализующая определение рабочих и энергетических параметров на основе заданных конструктивных параметров устройства. Таким образом, для получения детального описания стационарного режима работы термоакустического преобразователя необходимо провести предпроектное определение размеров каждого узла конструкции. В данной работе приведён алгоритм определения основных параметров регенератора как определяющего элемента любого термоакустического преобразователя. Методика аналогична [1,2], в данной работе она адаптирована для двигателя. Целевыми параметрами проектирования регенератора являлись длина и координата центра регенератора в резонаторе для заданных температурной разницы на его концах ΔT_m и требуемого количества вырабатываемой акустической мощности W_{ac} , критерием оптимизации являлось максимальное значение коэффициента производительности регенератора:

$$COP = \frac{W_{ac}}{Q_h}, \quad (1)$$

где Q_h - подводимая тепловая мощность на горячем конце регенератора, (2). Количество акустической мощности, генерируемой за счёт термоакустического переноса тепла в регенераторе за счёт градиента температур на его концах, при компенсации всех тепловых и вязкостных потерь в нем, в теплообменниках и на стенках резонатора, определяется как [3]:

$$\dot{W}_2 = \frac{1}{4} \Pi \delta_k L_s \frac{(\gamma - 1) \omega (p_1^s)^2}{\rho_m a^2 (1 + \varepsilon_s)} \left(\frac{\Gamma}{(1 + \sqrt{\sigma}) \Lambda} - 1 \right) \quad (2)$$

$$- \frac{1}{4} \Pi \delta_v L_s \frac{\omega \rho_m \langle u_1^s \rangle^2}{\Lambda},$$

уравнение энергии потока газа в термоакустическом двигателе

$$\dot{E}_2 = - \frac{1}{4} \Pi \delta_k \frac{\beta T_m p_1^s \langle u_1^s \rangle}{(1 + \sigma)(1 + \varepsilon_s) \Lambda} X - \quad (3)$$

$$- \Pi [y_0 K + l K_s] \frac{dT_m}{dx},$$

$$\text{где } \Lambda = 1 - \frac{\delta_v}{y_0} + \frac{\delta_v^2}{2y_0^2},$$

$$X = \Gamma \frac{1 + \sqrt{\sigma} + \sigma + \sigma \varepsilon_s}{1 + \sqrt{\sigma}} - \left(1 + \sqrt{\sigma} - \frac{\delta_v}{y_0} \right).$$

Поскольку для инженерного алгоритма проектирования термоакустического двига-